

「胸部CR画像における画像処理効果の検討」

森 泰成

放射線部

「Investigation of Computed Radiography Chest-Image Using a Frequency Processing Based on Multiresolution Analysis (Hybrid Processing)」

Key Words :

胸部X線写真、Hybrid処理、ファジィ、境界閾値、CR

要 旨

近年、多重解像度解析を用いた周波数処理（Hybrid処理）が新しく開発された。この処理技術の胸部CR画像への適応について、視知覚的な手法を用いて検討してみた。

評価法としては、定評の高いGeorge Washington大学のQC委員会で作成された「胸部X線写真の評価」を元に質問シートを作成し、階層的ファジィ積分法を用いて点数化する手法をとった。この処理により、主観的なデータに客観性を持たせた。

Hybrid-Equalization処理においては、境界閾値を広げることにより、低濃度域でのノイズを抑制しつつ縦隔部の視認性の向上を得ることが出来た。また、濃淡陰影の違和感も解消できた。

Hybrid-Frequency処理では、肺血管影においてより良い強調が得られた。ただ、粒状性などにおいて悪化が目立った為、総合的な評価としては、未処理画像との有意な改善は確認されなかった。

緒 言

近年、CRの画像処理技術¹⁾が進歩してきている。階調処理に始まり、空間周波数を利用した周波数強調処理、ダイナミックレンジ圧縮処理などさまざまな処理技術が生まれ向上してきている。

しかし、これらの処理にはScreen - Film系と濃淡陰影等の点で違いを生じやすく、観察者に違和感を与える欠点²⁾があった。

その欠点を補うべく、最近登場したのが濃度やコントラストに依存する非鮮鋭画像を複数枚重ね合わせるにより、自然な強調（又は処理効果）をもたらそうとする画像処理³⁾である。（コニカでは、このような処理のことをHybrid処理という。）

当院にも、2001年11月よりHybrid処理が行なえるコニカ社製REGIUS 350及び550⁴⁾が新たに導入された。

これに当たり、胸部CR画像を用いてHybrid処理

が与える視知覚的な影響を検討し、胸部CR画像におけるHybrid処理の適応の可能性について考察してみた。また、胸部CR画像において大きな影響を与えるLUTカーブについても合わせて検討してみた。

方 法

I. 試料画像の作成

各画像処理効果の検討に適当と思われる胸部単純正面のCR画像をそれぞれ選び出し、任意に画像処理を加え、1検討項目につき3～5種類の試料画像を作成した。

作成した試料画像のパラメータは、下記の通りである。

i) Hybrid-Equalization処理（以後HE処理）の試料画像

No.1 HE処理なし

No.2 HE - STANDARD 2 $\beta L=0.30$

- No.3 HE-STANDARD 2 $\beta L=0.60$
No.4 HE-STANDARD 2 $\beta L=0.60$
eKL₁=0.65
No.5 HE-STANDARD 1 $\beta L=0.60$
eKL₁=0.65

ii) Hybrid-Frequency処理（以後HF処理）の強さによる変化を検討する為の試料画像

- No.1 HF処理なし
No.2 HF-STANDARD 5 $\beta 2=0.30$
No.3 HF-STANDARD 5 $\beta 2=0.60$

iii) Hybrid-Frequency処理のパラメータTYPEの違いによる変化を検討する為の試料画像

- No.1 HF処理なし
No.2 HF-STANDARD 1 $\beta 2=0.60$
No.3 HF-STANDARD 3 $\beta 2=0.60$
No.4 HF-STANDARD 4 $\beta 2=0.60$
No.5 HF-STANDARD 6 $\beta 2=0.60$

※ここまで（i～iii）のLUTカーブは、THX-01を使用した。

iv) LUTカーブの試料画像（G処理以外の画像処理はかけないで作成）

- No.1 THX-01（G=1.81）
胸部正面用（低濃度部のコントラストを重視）
No.2 THX-02（G=2.06）
胸部正面用（心陰影部の描出を重視）
No.3 THX-03（G=2.16）
胸部側面用（ややラチチュードが狭い）
No.4 THX-07（G=1.84）
胸部正面用（縦隔部の描出を重視）

II. 胸部写真の評価手順

表1のような質問シートを作成した。質問シートは、各評価項目において選択肢の中から適切なものを1つ選んでもらう形式にした。また、評価項目と評価する際の選択肢は、文献5)を参考に作成し、各選択肢にそれぞれ配点⁵⁾（満点は100点）を付けた。これを用いて当院の技師8名にて評価した。

次に、各評価項目における評価値H（A_n）を求めた。手順としては、選択肢ごとに付けた配点を元にして、8名の観察者から得られた各得点を総加した。そして、各評価項目の平均点を算出し、これを評価値H（A_n）とした。この値を元に、後述する階層的

表1 胸部X線写真の視知覚的評価表

No.

☆ []の選択肢からどれか一つを○で囲んで下さい。☆

<p>I. 解剖学的方法</p> <p>・肋骨線について</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 気にならない ② やや気になる ③ 気になる ④ 非常に気になる ⑤ 病巣の為に評価できない </div> <p>・肋骨鎖骨の骨梁を通して、血管陰影が追跡可能か？</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 非常に鮮明にみえる ② 鮮明である ③ あまり鮮明ではない ④ みえない ⑤ 病巣の為に評価できない </div> <p>・左横隔膜の追跡がどの程度可能か？</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 全体がよくみえる ② 部分的にみえる ③ 全然みえない ④ 病巣の為に評価できない </div> <p>・全胸性の追跡がどの程度可能か？</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 非常に良くみえる ② 良くみえる ③ 一般的にみえる ④ よくみえない ⑤ 全然みえない ⑥ 病巣の為に評価できない </div> <p>・気管の追跡がどの程度可能か？</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 左主気管支まで良くみえる ② 左主気管支まで良くみえる ③ 気管分岐部まで良くみえる ④ 上縦隔部の気管が良くみえる ⑤ 気管がみえない ⑥ 病巣の為に評価できない </div> <p>・下行大動脈の左縁の追跡がどの程度可能か？</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 縦隔全体にわたって良くみえる ② 部分的にみえる ③ みえない(大動脈弓はみえる) ④ みえない(大動脈弓もみえない) ⑤ 病巣の為に評価できない </div> <p>・血管陰影の追跡がどの程度可能か？</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 縦隔全体にわたって良くみえる ② 右横隔肋骨角までみえる ③ 右中野の動脈までみえる ④ 右下野の動脈までみえる ⑤ 血管の追跡は不可能 ⑥ 病巣の為に評価できない </div>	<p>・胸郭と肺との境界について</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 非常にはっきりしている ② はっきりしている ③ 部分的にはっきりしない ④ みえない ⑤ 病巣の為に評価できない </div> <p>・心陰影に重なる血管陰影が追跡可能か？</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 非常に鮮明にみえる ② 鮮明である ③ あまり鮮明ではない ④ みえない ⑤ 病巣の為に評価できない </div> <p>・横隔膜下に重なる血管陰影が追跡可能か？</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 非常に鮮明にみえる ② 鮮明である ③ あまり鮮明ではない ④ みえない ⑤ 病巣の為に評価できない </div>
<p>II. 物理学的方法</p> <p>・コントラストについて</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 最適 ② 適 ③ 不適(診断可能) ④ 不良(診断不可能) ⑤ ※不適又は不良を選んだ方へ ⑥ コントラストが付きすぎている ⑦ コントラストが足りない </div> <p>・粒状性(ざらつき)について</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 粒状性がみえない ② 粒状性が気になる ③ 粒状性が荒れているが診断可能である ④ 粒状性が荒れているが診断不可能である </div> <p>・濃度について</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 最適 ② 適 ③ 不適(診断可能) ④ 不能(診断不可能) ⑤ ※不適又は不能を選んだ方へ ⑥ 濃度が付きすぎている ⑦ 濃度が足りない </div> <p>・鮮鋭度(境界の明瞭さ)について</p> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 20px;"> ① 最適 ② 適 ③ 不適(診断可能) ④ 不能(診断不可能) </div>	

ファジィ積分法⁶⁾を用いて総合評価値T(x)を各試料画像ごとに算定した。

III. 総合評価値T(x)の算定法について

観察者が画像を評価する際、どうしても評価値に『主観のあいまいさ』が生じる。そこで今回は、総合評価値T(x)の算定過程でファジィ理論⁷⁾を用いた。

この理論は、『主観のあいまいさ』を加味した上で、得られたデータに客観的な性質を与える手法である。ファジィ理論は、大きく分けるとファジィ集合論とファジィ測度論に分かれる。今回は、後者のファジィ測度論を用いた。

ファジィ測度論⁸⁾とは、総合評価値T(x)を求める際に、各評価項目から得られた評価値H(A_n)を単純に総和したりするのではなく、重要度に応じて加重(重み付け)をかけ算定する方法論である。ただ、各評価項目を評価する際にそれぞれが互いに干渉しあっている場合、相乗効果や相殺効果が期待できる。ファジィ測度論では、その効果が生じる

事を前提として、各評価項目の評価値 $H(A_n)$ の値を元に序列を付け、その組み合わせに対してまた加重をかける仕組みになっている。計算式で示すと、下記の通りである。

$$\begin{aligned}
 C &= \int H(X_i) dm(X_i) \quad (1 \leq i \leq n) \\
 &= H(A_n) \cdot m(A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, A_n) \\
 &+ \{H(A_{n-1}) - H(A_n)\} \cdot m(A_1, A_2, \dots, A_{n-1}) \\
 &+ \dots \\
 &+ \{H(A_2) - H(A_3)\} \cdot m(A_1, A_2) \\
 &+ \{H(A_1) - H(A_2)\} \cdot m(A_1)
 \end{aligned}$$

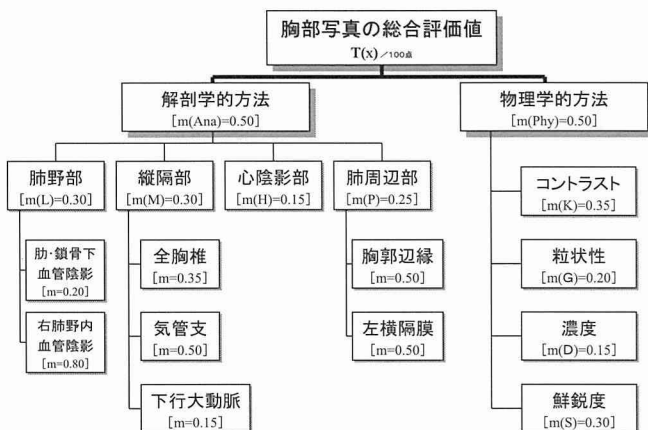
ただし、 $H(A_1) \geq H(A_2) \geq H(A_3) \geq \dots \geq H(A_{n-1}) \geq H(A_n)$
 $m(X_i)$: (評価値の重み付けに相当する) ファジィ測度

今回利用した階層的ファジィ積分法（階層的分析総合型）は、このような積分を表2に示す各階層において行い、総合評価値 $T(x)$ を算定する手法である。

今回の評価において用いたファジィ測度を下記に示す。

$$\begin{aligned}
 m(\text{bronchi}, \text{aorta}) &= 0.65 & m(\text{thoracic}, \text{aorta}) &= 0.55 \\
 m(P, L) &= 0.50 & m(P, M) &= 0.40 & m(L, M) &= 0.50 \\
 m(P, L, H) &= 0.65 & m(P, L, M) &= 0.80 \\
 m(K, G) &= 0.45 & m(G, D) &= 0.30 & m(D, S) &= 0.55 \\
 m(K, G, D) &= 0.75 & m(K, D, S) &= 0.85 & m(G, D, S) &= 0.70
 \end{aligned}$$

表2 階層的ファジィ積分法(HFI)の階層構造



※m=… ファジィ測度(評価値の重み付け)

IV. 観察結果の評価法について

試料画像の総合評価には、Ⅲにて解説した総合評価値 $T(x)$ を用いた。また、各評価項目における各

試料間の差について検討するために、t分布による両側検定($\alpha=0.05$)を用いた。ただし、差の検出力を高める為に次のような工夫⁹⁾を施した。

ある評価項目において、観察者ごとに両試料間の評価値の差 $D\{D_1, D_2, D_3, \dots, D_8\}$ を求める。この差の値の集合を1つの母集団として考え、『Dの母平均 μ_D が0である。』という帰無仮説をたてる。これを元にしてt検定を行なった。

結 果

各処理によって得られた結果を図1から図4に示す。なお、図4については評価値 $H(A_n)$ をレーダーチャートで、総合評価値 $T(x)$ は棒グラフにて表わした。

考 察

I. Hybrid-Equalization処理

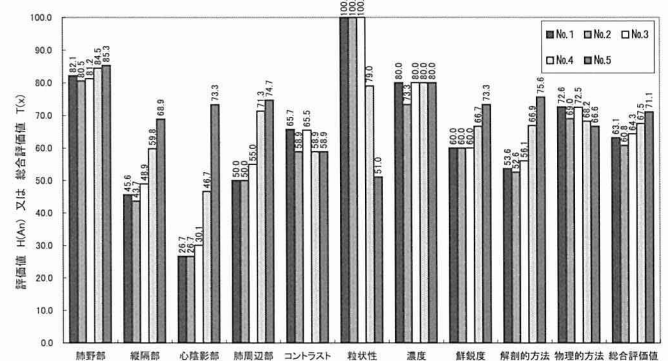


図1 Hybrid-Equalization処理による変化

低又は高濃度域の低周波成分（大まかな変化）に対して圧縮処理を加える事により、高周波成分（局所的な変化）を変えることなく、画像全体を適正濃度域に収める手法が従来のEqualization処理だった。

胸部CR画像においては、肺野部を主たる観察域にしておくため、低濃度域である縦隔部及び心陰影部の信号が特性曲線の足元の部分になりがちで、どうしてもコントラストが低くなりがちであった。そこで、低濃度域のコントラストを改善する為にEqualization処理が検討された。

しかし、Equalization処理にもいくつか欠点があった。第一に、ダイナミックレンジの圧縮により低信号域が階調曲線の傾きの大きい部分にずれることによって、画像全体の濃淡のバランスに若干の不自然さを感じさせた。また第二に、元々到達線量の少な

い低濃度部を強調することによりノイズが目立ったりした。

今回検討したHybrid-Equalization処理では、縦隔部及び心陰影部の視認性の向上を保ちつつ、Equalization処理の第一の欠点であった濃淡のバランスが処理前と比べて変化しなかったことがコントラストと濃度の評価値から確認できた。また第二の欠点については、低濃度域での高周波成分の圧縮を積極的に行なうHE-STANDARD 2において、 β Lが大きくなっても粒状性がほとんど変化しないことから改善されたと考えられる。

eKL₁ (境界信号値) を15%upしたNo.4に関しては、粒状性の悪化が若干現れた。しかし、物理学的方法の評価値H(Phy)が他のHE処理を加えた画像No.2, No.3と有意差が無かった点、解剖学的方法の評価値H(Ana)がHE処理を加えなかったNo.1と比べて有意に高かった点を踏まえれば、有効であるといえる。

パラメータTYPEを低濃度域のエッジを重視するHE-STANDARD 1にしたNo.5の場合は、縦隔部や特に心陰影部の評価値が有意に高く、解剖学的方法の評価値H(Ana)において最高得点であった。しかし、粒状性の悪化が顕著であり、物理学的方法の評価値H(Phy)がNo.1と比べて有意に低くなった。総合評価値T(No.5)においては、T(No.1)と比べて有意に高かったが、T(No.4)との有意差は無かった。以上の点を考え合わせれば、試料画像No.5は、長所と短所の差が余りにも極端であり、T(No.5)とT(No.4)の有意差が無いのであれば、T(No.5)が一番高いけれどもNo.4の処理条件の方が適切ではないのかと考える。

II. Hybrid-Frequency処理

従来のFrequency処理は、空間周波数の高周波成分を非鮮鋭マスク処理にて強調することによって、画像の鮮鋭度（特に胸部で言うと微細な肺血管影等）を高める処理だった。しかし、高周波数域のみで強調をかける為、高周波ノイズを強調してしまい粒状性が悪くなったり、細かい部分のみが極端に強調された違和感のある画像が出来てしまうという欠点もあった。

そこで、Hybrid-Frequency処理では低周波域から処理を徐々にかけることによって、自然な強調が出来るようになっていく。

今回、Hybrid-Frequency処理の検討では、i) 強さによる違い、及びii) パラメータTYPEによる違いの2つに分けて考えてみた。

i) 処理の強さによる違い

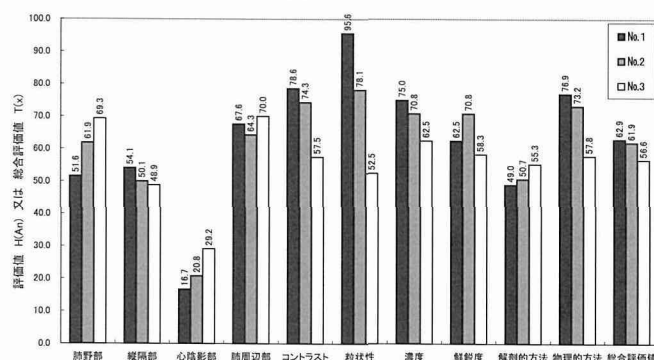


図2 Hybrid-Frequency処理の強さによる変化

処理の強さが高まるにつれて肺野・心陰影下の血管影の改善は有意にみられたが、それに伴い画像全体のコントラストのバランスや特に粒状性の悪化が顕著であった。その為、物理学的方法方法の評価値H(Phy)が極端に悪化した。結果として、総合評価値Tにおいては、HF未処理画像との有意差は確認できなかった。

ii) パラメータTYPEによる違い

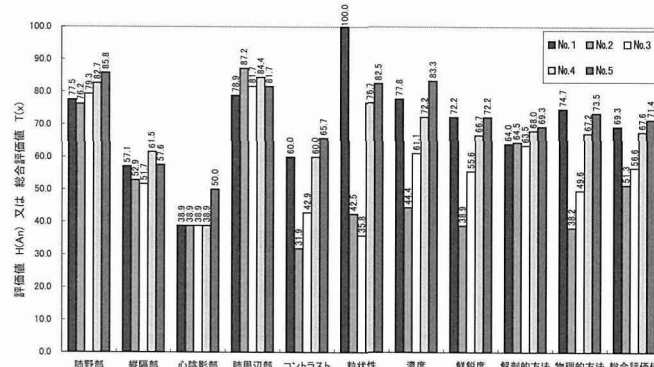


図3 Hybrid-Frequency処理のパラメータTYPEによる変化

低周波成分の寄与率が低くなるパラメータになるにつれて、物理学的方法の評価値を構成する4つの素因すべてが改善されていくことが特徴的である。特に、HF-STANDARD 6に到っては、HF未処理と同じレベルまでに改善されていた。

i) とii) より、従来のFrequency処理において欠点の1つであった極端な強調による違和感は、HF処理により改善され適切な肺血管影の強調が出来るといえる。ただ、もう一つの欠点である高周波ノイズの強調については、胸部写真においては適切な

処理強度（ $\beta 2$ ）の選択とHF-STANDARD 6のパラメータTYPEを選ぶことによりある程度抑えられると考えられる。

Ⅲ. LUTカーブ

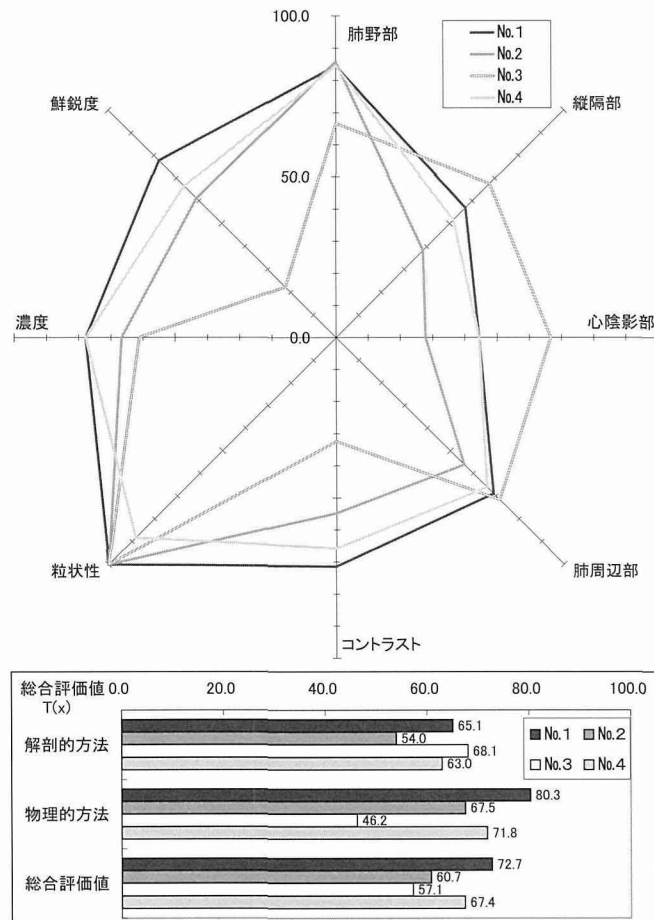


図4 LUTカーブによる変化

ディテクタから得られる画像の信号特性は、到達X線量に対数比例している。これを、Screen-Film系のように非線形の特性曲線のようなコントラストを得る為に必要なパラメータがLUT (Look Up Table) である。

まず、高い γ をもつTHX-03が肺野境界、心陰影部、縦隔部の視認性が高く、解剖学的方法の評価値H(Ana)が最も高い値を示した。しかし、コントラスト、濃度、鮮鋭度においてかなりの違和感を与えたり、物理学的方法の評価値H(Phy)がとても低い点になってしまった。

それと比べて、THX-01は、物理学的方法の評価値H(Phy)が群を抜いて高く、解剖学的方法の評価値H(Ana)も胸腹部正面用のパラメータの中では、一番

良い評価値を得た。結果として、各評価項目においてコンスタントに高得点を得た為、総合評価値Tがもっとも良かった。

THX-02とTHX-07は、際立った特長が無かった。

結 論

I. Hybrid-Equalization処理

パラメータTYPEをHE-STANDARD 2、 $eKL_1 = 65$ (%) 前後に設定することにより、濃淡の違和感やノイズを抑えつつ低濃度部（縦隔・心陰影部）において視認性を向上させることが可能である。

II. Hybrid-Frequency処理

パラメータTYPEをHF-STANDARD 6に設定することにより、Frequency処理特有の高周波ノイズを抑えつつ肺血管影を強調することが可能である。ただ、 $\beta 2$ 値を高め設定すると、高周波ノイズが目立つ傾向がある。

また、今回の実験においては、肺血管影において有意な改善が見られたものの総合評価値TにおいてHF未処理画像との有意差は確認できなかった。

Ⅲ. LUTカーブ

低濃度部において良好なコントラストを示すTHX-01が、胸部単純正面像においてもっとも適したLUTカーブであった。

参考文献

- 1) コニカ株式会社：第4章 画像処理。
REGIUS MODEL 150技術解説書、Ver 1.0、2001.1、4-1-4-25
- 2) 田中弘、永田武史、山田雅彦：第8編 CRシステム。
医用画像システム実用ハンドブック、改訂第1版、名古美術印刷(株)、東京、2000、199-228
- 3) 梶大介：多重解像度空間への分解を用いた周波数処理（Hybrid処理）による画像診断性能の向上。
医用画像情報学会雑誌、19(2)：91-97、2002
- 4) コニカ株式会社：第3章-1 画像処理。
RS-Series、Verl.30、84-87
- 5) James J.Vucich, David J.Goodenough, Ann

- M.Lewicki,et al : Use of Anatomical Criteria in Screen/Film Selection for Portable Chest X-Ray Procedures.
radiological health, Optimization of Chest Radiography (Proceeding of a Symposium held in Madison, Wisconsin April 30-May 2,1979), BRH:237-248, 1980
- 6) 山下一也 : 「見る」物差し・「読む」物差し
ー乳房画像の総合評価を考えるー
日本放射線技術学会雑誌、53(7)、783-790, 1997
- 7) 山下一也 : 『ファジィ』って何? ー曖昧さの科学と技術ー
日本放射線技術学会雑誌、48(4)、648-658, 1992
- 8) 山下一也、滝川厚、石田隆之、ほか : ファジィ測度論による胸部画像の総合評価。
日本放射線技術学会雑誌、48(4)、616-624, 1992
- 9) 佐藤信 : 15. 採点法。
統計的官能検査法、第1版、(株)日科技連出版社、東京、1985, 186-188
- 10) 佐井篤儀 : 2・3 ファジィ。
デジタル放射線画像、第1版、オーム社、東京、1998, 31-36